

УДК 339.137.2:631.354

**МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО  
ВАРИАНТА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ  
И МОДЕРНИЗАЦИИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ  
КОМБАЙНОВ****В. К. ЛИПСКАЯ***Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,**Республика Беларусь**Открытое акционерное общество «Научно-технический  
центр комбайностроения», Республика Беларусь***Введение**

Под конкурентоспособностью зерноуборочных комбайнов следует понимать комплексную, относительную характеристику технически сложной продукции производственного назначения, обеспечивающую последней на определенном рынке и в определенный момент времени предпочтение потребителей, сравнивающих ее с товарами-конкурентами (аналогами) на основании ряда критериев – стоимостных (затрат на приобретение, эксплуатацию, утилизацию) и качественных (технических, эстетико-эргономических характеристик, комплексных показателей надежности и безопасности использования) [1].

Исходя из определения понятия «конкурентоспособность», добиться повышения уровня конкурентоспособности зерноуборочных комбайнов возможно через совершенствование стоимостных критериев или критериев качества. Важнейшим показателем, определяющим качество комбайнов, является надежность их компонентов, одним из способов повышения которой выступает многовариантное проектирование компонентов при разработке, совершенствовании и модернизации машин.

Многовариантное проектирование заключается в том, что при проектировании узла машины или при совершенствовании (модернизации, модификации) существующего разработчиком предлагается не один эскизный вариант решения поставленной задачи, а несколько. Возможен другой способ, когда одно и то же задание дается одновременно нескольким независимым разработчикам, в результате чего формируется несколько вариантов решения задачи.

Такой подход к проектированию позволяет лучше увидеть особенности конструкции, посмотреть на нее с разных сторон, оценить преимущества и недостатки каждого варианта и выбрать наиболее оптимальный по производственной возможности, технологичности, качеству и др.

Для того чтобы облегчить принятие решения в выборе варианта из множества и не допустить ошибок, требуется применение эффективной методики выбора, позволяющей детально изучить все предлагаемые варианты, увидеть их преимущества и недостатки, выбрать наиболее приемлемый для условий производства и эксплуатации и тем самым сэкономить трудовые и материальные затраты. До настоящего времени такая методика, адаптированная к реальным условиям проектирования, отсутствовала.

Цель данного исследования – разработать эффективную методику выбора рационального варианта технического решения при проектировании, совершенствовании и модернизации зерноуборочных комбайнов, адаптированную к реальным условиям проектирования.

### Основная часть

Разработанная методика позволяет производить оценку и выбор рационального варианта технического решения в условиях реального проектирования. В ней учитывается один из основных законов развития технических систем – закон увеличения степени идеальности системы. Этот и другие законы развития технических систем впервые сформулированы основоположником теории решения изобретательских задач Г. С. Альтшуллером, а в дальнейшем дополнялись ее последователями; они позволяют предсказывать возможные пути улучшения продукции. Техническая система в своем развитии приближается к идеальности. «Идеальная техническая система – это система, вес, объем и площадь которой стремятся к нулю, хотя ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. Иначе говоря, идеальная система – это когда системы нет, а функция ее сохраняется и выполняется» [2]. Достигнув идеала, система должна исчезнуть, а ее функция должна продолжать выполняться.

Установлено, что в процессе совершенствования технической системы в каждом конкретном случае повышается ее идеальность за счет роста отношения функциональных возможностей системы « $F$ » к совокупности затрат на ее создание и эксплуатацию « $C$ ». На практике идеальная система недостижима, но она показывает направление, в котором следует совершенствовать объект.

При проставлении оценок привлекаемые эксперты в обязательном порядке учитывают закон увеличения степени идеальности системы, так как идеальная техническая система является одной из баз сравнения альтернативных вариантов технических решений узла. Эксперты определяют положение каждого из вариантов относительно «идеального», который по всем показателям, отобранным для оценки, имеет наивысшую оценку. При этом каждому эксперту разъясняется понятие «идеальная техническая система» по отношению к узлу, выбранному для многовариантного проектирования.

Показатели для методики выбора рационального варианта технического решения из альтернативных (при проектировании, совершенствовании и модернизации зерноуборочных комбайнов) выделены из комплексной иерархической схемы множества критериев оценки зерноуборочного комбайна – это группа показателей, описывающая критерий «степень совершенства компонентов зерноуборочного комбайна» [3]. К этим показателям относятся следующие:

- результативность;
- габариты;
- масса;
- совершенство кинематической схемы;
- совершенство силовой схемы;
- удобство технического обслуживания;
- удобство осуществления регулировок при эксплуатации;
- степень агрегатности компонентов;
- удобство сборки и наладки;
- удобство разборки и замены изнашиваемых элементов;
- стоимость изготовления;

- степень сложности организации производства;
- возможность получения дополнительной выгоды.

Для одинакового восприятия смысл показателей, по которым могут возникнуть сложности, разъясняется всем экспертам.

Перечисленными показателями можно охарактеризовать большинство узлов зерноуборочных комбайнов, однако их состав и количество может меняться в зависимости от поставленной задачи или изделия. Благодаря этому, методика становится универсальной, она путем уточнения номенклатуры показателей может быть применима для оценки узлов другой техники, а не только зерноуборочных комбайнов.

Анализ условий проектирования изделий в ОАО «Научно-технический центр комбайностроения» (далее – ОАО «НТЦК») показал, что в качестве экспертов для выбора рационального варианта конструкции узла следует привлекать группы экспертов по четырем направлениям:

- группа заказчика работы – включает главного конструктора, его заместителей, заведующего конструкторским отделом и его заместителей (по направлению работы);
- группа разработчиков – включает ведущих специалистов-конструкторов;
- группа технологов – включает нескольких технологов;
- группа эксплуатационников – включает нескольких специалистов в области эксплуатации изделия, в которое входит совершенствуемая составная часть.

Для каждой из вышеперечисленных групп экспертов устанавливается весовой коэффициент. Значения коэффициентов основаны на обобщении работ отечественных и зарубежных авторов по оценке профессиональной ориентации экспертов в теоретическом анализе проблемы и производственном опыте. Кроме того, о значимости каждой из групп экспертов можно судить на основании анализа затрат на устранение ошибок, возникающих на каждой из стадий жизненного цикла изделия. Установлено, что исправление ошибки, допущенной конструктором изделия на этапе конструирования, стоит 1 р., на этапе проектирования инструмента или технологической оснастки – 10 р., а в производстве – 100 р. [4, с. 45]. Исходя из этого, наибольшие оценки значимости мнений экспертов были присвоены группам разработчиков и заказчиков, получившим оценки 4 и 3 соответственно, мнение групп технологов и эксплуатационников равнозначны – им присвоены оценки по 2 балла. Весовые коэффициенты групп экспертов, рассчитанные как отношение каждой оценки к их сумме, составляют:

- группа заказчика ( $g_1$ ) – 0,27;
- группа разработчиков ( $g_2$ ) – 0,37;
- группа технологов ( $g_3$ ) – 0,18;
- группа эксплуатационников ( $g_4$ ) – 0,18.

Для оценки большинства узлов зерноуборочных комбайнов подходят установленные значения весовых коэффициентов экспертов.

Экспертам каждой группы предлагается заполнить опросные листы, содержащие следующую информацию:

- описательная часть, где подробно раскрывается проблема, подлежащая решению с помощью альтернативных вариантов технических решений; приведен перечень показателей, по которым необходимо произвести оценку этих вариантов. Кроме того, приведены определения понятий отдельных показателей, по которым могут возникнуть сложности, и раскрыто содержание понятия «идеальная техническая система» по отношению к узлу, проектирование, совершенствование или модернизация которого осуществляется;

– приложение к опросному листу, в котором содержится схематическое изображение конструкции (эскиз) каждого из вариантов, их описание с указанием достоинств и недостатков;

– таблица опросного листа.

Каждый из экспертов, заполняя таблицу опросного листа, дает собственную оценку базового (техническое решение, которое в настоящее время используется в конструкции узла) и альтернативных вариантов технических решений по каждому показателю при совершенствовании и модернизации узла комбайна или оценку только альтернативных вариантов при разработке нового. Задача эксперта состоит в том, чтобы, исходя из собственного профессионального опыта:

а) дать оценку в баллах (от 0 до 10) каждому варианту технического решения, включая базовый (при его наличии), по показателям;

б) провести анализ значимости каждого показателя по десятибалльной шкале от 0 до 10 (далее – оценка значимости показателя).

Определяющему показателю, улучшение которого является основной целью решаемой задачи, присваивается максимальная оценка значимости – 10 баллов. Базовому варианту (при его наличии) по этому показателю присваивается оценка 0 баллов.

При совершенствовании и модернизации узла комбайна эксперты, проставляя оценки альтернативным вариантам технических решений, определяют их положение относительно «идеального» и «базового» вариантов:

– «идеальная техническая система» по каждому показателю имеет максимальную оценку – 10 баллов;

– «базовый» вариант технического решения – это составная часть изделия, альтернативные варианты которой были сформированы при ее совершенствовании.

При проектировании нового узла зерноуборочного комбайна эксперты определяют положение альтернативных вариантов только относительно «идеального».

Обработка опросных листов начинается с установления степени согласованности мнений экспертов. При этом на основании таблицы опросного листа, заполненной экспертами, определяется степень согласованности суждений (оценок) экспертов по каждому варианту технического решения. Этот этап работы заключается в определении для каждого альтернативного варианта технического решения численного значения коэффициента конкордации  $W_j$  по формуле, учитывающей наличие связанных рангов [5, с. 206].

Если мнения экспертов согласованы ( $W_j > 0,5$ ), то их суждениям можно доверять. Оценки, проставленные в таблице опросного листа, подлежат обработке и дальнейшему анализу. Если отмечается несогласованность ( $W_j < 0,5$ ) или полная согласованность оценок экспертов ( $W_j = 1$ ), то опрос необходимо повторить для пересмотра и уточнения поставленных оценок.

Далее определяются суммарные оценки ( $Q_{jk}$ ) групп экспертов по каждому ( $k$ -му) показателю для каждого ( $j$ -го) из альтернативных вариантов технических решений с учетом весовых коэффициентов экспертов по формуле (1):

$$Q_{jk} = \sum_{g=1}^G \overline{O}_{gk} \cdot V_g, \quad (1)$$

где  $V_g$  – весовой коэффициент группы экспертов, имеющей номер  $g$ ;  $\overline{O}_{gk}$  – средняя оценка экспертов в группе, имеющей номер  $g$ , по показателю с номером  $k$ .

При этом средняя оценка экспертов в группе ( $\overline{O_{gk}}$ ) вычисляется по формуле (2):

$$\overline{O_{gk}} = \frac{\sum_{e=1}^E O_{ek}}{E}, \quad (2)$$

где  $O_{ek}$  – оценка эксперта, имеющего номер  $e$ , по показателю с номером  $k$ ;  $E$  – количество экспертов в группе.

Формируется база для сравнения альтернативных вариантов технических решений. В качестве базы принимается «перспективное» техническое решение.

Под «перспективным» техническим решением понимается условное (теоретическое) техническое решение, характеризующее совокупностью реально достижимых лучших значений по каждому из показателей всех представленных альтернативных вариантов технических решений.

Значения показателей «перспективного» технического решения определяются по формуле (3):

$$Q_k^{\Pi} = Q_{jk} \max, \quad (3)$$

где  $Q_{jk} \max$  – лучшее значение по каждому ( $k$ -му) показателю из  $J$  альтернативных вариантов технических решений.

На следующем этапе определяется величина нечетких представлений относительно выбранных показателей по альтернативным вариантам технических решений. С этой целью выявляют, в какой мере совокупность значений показателей каждого из альтернативных вариантов соответствует значениям показателей «перспективного» технического решения.

Определение величин нечетких представлений относительно выбранных показателей ( $h_{jk}$ ), т. е. степени наличия  $k$ -го показателя у  $j$ -го варианта технического решения, осуществляется по формуле (4):

$$h_{jk} = \frac{Q_{jk}}{Q_k^{\Pi}}. \quad (4)$$

Следующий этап – определение оптимальной степени значимости каждого показателя ( $Z_k^o$ ) по формуле (5):

$$Z_k^o = \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G Z_{gk} \cdot V_g, \quad (5)$$

где  $Z_{gk}$  – степень значимости  $k$ -го показателя, по мнению  $g$ -й группы экспертов.

При этом степень значимости каждого показателя ( $Z_{gk}$ ) вычисляется по формуле (6):

$$Z_{gk} = \frac{\overline{O_{gk}^z}}{\sum_{g=1}^G \overline{O_{gk}^z}}, \quad (6)$$

где  $\overline{O_{gk}^z}$  – средняя оценка значимости  $k$ -го показателя, по мнению  $g$ -й группы экспертов.

Средняя оценка значимости  $k$ -го показателя в группе  $(\overline{O_{gk}^z})$  определяется по формуле (7):

$$\overline{O_{gk}^z} = \frac{\sum_{e=1}^E O_{ek}^z}{E}, \quad (7)$$

где  $O_{ek}^z$  – оценка значимости  $k$ -го показателя, по мнению эксперта, имеющего номер  $e$  в группе;  $E$  – количество экспертов в группе.

Далее производится оценка альтернативных вариантов технических решений методом многокритериального ранжирования. На основании полученного множества точечных оценок функций принадлежности и множества коэффициентов оптимальной степени значимости показателей производится оценка альтернативных вариантов технических решений по формуле (8):

$$P_j = \frac{\sum_{k=1}^K h_{jk} \cdot Z_k^o}{\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K Z_{gk}}, \quad (8)$$

где  $P_j$  – результат оценки  $j$ -го варианта технического решения.

Применимость разработанной методики была апробирована в условиях ОАО «НТЦК».

Для повышения конкурентоспособности зерноуборочного комбайна КЗС-1218 производства ОАО «Гомсельмаш» решалась задача повышения его пропускной способности как основного фактора, определяющего предпочтение потребителей, путем резкого сокращения потерь зерна за молотилкой комбайна.

Проведенный анализ показал, что решить данную задачу возможно путем поиска новых технических решений, связанных с конструкцией одного из компонентов технологического тракта молотилки. В результате чего была проведена исследовательская работа, итогом которой стало семь альтернативных вариантов технических решений этого компонента [6].

Для оценки этих вариантов по предложенному перечню показателей были привлечены четыре группы экспертов (заказчики, разработчики, технологи и эксплуатационники), из специалистов ОАО «НТЦК». Общее количество экспертов – 16 человек, по 4 – в каждой группе.

Экспертами на основании опросного листа, содержащего схематическое изображение конструкций альтернативных вариантов технических решений отбойного бitera и базового варианта – серийного отбойного бitera, их описание с указанием достоинств и недостатков, были заполнены таблицы опросного листа.

Расчет согласованности мнений экспертов показал, что значение коэффициента конкордации по каждому альтернативному варианту составляет более 0,5, т. е. мнения экспертов согласованы.

Расчет, проведенный по разработанной методике, позволил определить рациональный вариант технического решения, которое было направлено для патентования. Применение выбранной конструкции компонента технологического тракта молотилки позволяет повысить пропускную способность комбайна КЗС-1218 до 5–10 %, а соответственно, его экономическую эффективность и конкурентоспособность [6]. Экономический эффект на один комбайн КЗС-1218 при применении в нем рационального варианта конструкции компонента технологического тракта молотилки составляет 62,3 млн р.

На основе приведенной методики разработан и внедрен в ОАО «НТЦК» стандарт предприятия – СТП 325-090–2013. Стандарт организации. Система менеджмента. Порядок выбора рационального варианта технического решения.

### **Заключение**

Разработана методика выбора рационального варианта технического решения при проектировании, совершенствовании и модернизации зерноуборочных комбайнов. Она может быть использована не только на предприятиях, осуществляющих разработку конструкции и производство зерноуборочных комбайнов, но и на других машиностроительных предприятиях. Сущность данной методики заключается в том, что она на основании показателей, описывающих степень совершенства компонентов комбайна, позволяет осуществить сравнение альтернативных вариантов технических решений с «перспективным», сформированным на основании лучших значений по каждому показателю предлагаемых вариантов, и выбор наиболее рационального.

Новизна методики заключается в следующем: во-первых, она ориентирует на использование многовариантного проектирования, главным преимуществом которого является возможность определить особенности предлагаемых к разработке вариантов технических решений и оценить их преимущества и недостатки; во-вторых, адаптирована к реальным условиям проектирования и учитывает мнения экспертов по четырем направлениям (группы заказчиков, разработчиков, технологов и эксплуатационников); в-третьих, базируется на основном законе развития технических систем – законе увеличения степени идеальности и позволяет экспертам при наличии базового варианта (составная часть изделия, которая совершенствуется) определить положение предлагаемых к разработке альтернативных вариантов технических решений относительно «идеального» и «базового» вариантов.

Методика апробирована и внедрена в ОАО «НТЦК». Она легла в основу стандарта предприятия СТП 325-090–2013. Стандарт организации. Система менеджмента. Порядок выбора рационального варианта технического решения. Использование данного стандарта позволяет повысить технический уровень зерноуборочных комбайнов, делая их более конкурентоспособными.

### **Литература**

1. Липская, В. К. Выявление направлений повышения конкурентоспособности отечественных зерноуборочных комбайнов / В. К. Липская // Аграр. экономика. – 2014. – № 11. – С. 35–48.
2. Альтшуллер, Г. С. Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – М. : Совет. радио, 1979. – 105 с.
3. Липская, В. К. Критерии оценки конкурентоспособности производства зерноуборочной техники / В. К. Липская // Аграр. экономика. – 2013. – № 12. – С. 20–27.
4. Соболев, Ю. М. Конструктор и экономика: ФСА для конструктора / Ю. М. Соболев. – Пермь : Кн. изд-во, 1987. – 102 с.
5. Голубков, Е. П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика / Е. П. Голубков. – М. : Финпресс, 1998. – 416 с.
6. Снижение потерь зерна за молотилкой комбайна КЗС-1218 / Б. И. Саяпин [и др.]. – Гомель, 2012. – 41 с.

*Получено 22.06.2015 г.*